



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①⑫ Übersetzung der
europäischen Patentschrift

⑧⑦ EP 0 641 064 M1

①⑩ DE 694 02 014 T 2

⑤① Int. Cl.⁶:
H 02 K 49/04
H 02 K 49/00

②① Deutsches Aktenzeichen:	694 02 014.1
⑧⑥ Europäisches Aktenzeichen:	94 112 489.3
⑧⑥ Europäischer Anmeldetag:	10. 8. 94
⑧⑦ Erstveröffentlichung durch das EPA:	1. 3. 95
⑧⑦ Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	12. 3. 97
④⑦ Veröffentlichungstag im Patentblatt:	7. 8. 97

DE 694 02 014 T 2

③⑩ Unionspriorität:

88395 25.08.93 LU

⑦③ Patentinhaber:

IPALCO B.V., Alblasserdam, NL

⑦④ Vertreter:

Dr. Werner Geyer, Klaus Fehners & Partner, 80687
München

⑧④ Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

⑦② Erfinder:

Toukola, Risto, I-20054 Nova Milanese, IT

⑤④ Hysterese-Magnetkupplung

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 694 02 014 T 2

HYSTERESE-MAGNETKUPPLUNG

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Hysterese-Magnetkupplung oder eine Hysterese-Magnetkuppel-
5 vorrichtung.

Insbesondere bezieht sich die vorliegende Erfindung auf eine Hysterese-Magnetkupplung, mit einem äußeren Rotor, der ein ferromagnetisches Hysterese-material trägt, und einem drehbaren magnetischen Induktor, der in dem äußeren Rotor so
10 angeordnet ist, daß ein radialer Luftspalt gebildet wird, der auf der äußeren Seite durch das ferromagnetische Hysterese-material begrenzt wird. Der Schlupf zwischen dem magnetischen Induktor und dem ferromagnetischen Hysterese-material variiert zwischen einem minimalen Wert (V_1) und einem maximalen Wert
15 (V_2). Die Kuppelung zwischen dem magnetischen Induktor und dem magnetischen Anker erfolgt durch Magnetisierung und Entmagnetisierung des ferromagnetischen Hysterese-materials, das eine relative Drehung bezüglich des Magnetfeldes ausführt.

Diese Hysterese-Magnetkupplungen werden verwendet, um
20 in dem Fall, in dem ein wesentlicher Unterschied zwischen der Drehzahl der Eingangswelle und der Drehzahl der Ausgangswelle der Kupplung vorhanden ist, ein Drehmoment von einer Eingangswelle der Kupplung nach einer Ausgangswelle der Kupplung zu übertragen. Eine typische Anwendung dieser Hysterese-Magnet-
25 kupplungen wird bei einer Einhol/Auslege-Vorrichtung gefunden, die ein Einholdrehmoment, und während des Auslegens ein Bremsdrehmoment liefert. Bei einer solchen Vorrichtung ist die Eingangswelle der Kupplung mit dem Antriebsmotor gekuppelt, der eine nahezu konstante Drehzahl hat. Die Ausgangswelle der
30 Kupplung ist mit einer Einhol/Auslege-Trommel gekuppelt. Die

Drehzahl der Einhol/Auslege-Trommel geht durch null hindurch, und die Wickelrichtung ändert sich, während die Drehzahl des Motors im wesentlichen konstant ist. Wenn der Torsionsmodul bei der maximalen Drehzahl der Ausgangswelle der Kupplung 50% des Torsionsmoduls bei der Drehzahl der Eingangswelle der Kupplung repräsentiert, nimmt sowohl während des Auslegevorgangs, als auch während des Einholvorgangs der Schlupf zwischen dem magnetischen Induktor und dem magnetischen Anker der Kupplung zwischen dem Einholvorgang und dem Auslegevorgang um 200% zu. Dies ist darauf zurückzuführen, daß sich die Ausgangswelle der Kupplung während des Einholvorgangs in der gleichen Richtung wie die Eingangswelle dreht, während sich die Ausgangswelle der Kupplung während des Auslegevorgangs in der zu der Drehrichtung der Eingangswelle entgegengesetzten Richtung dreht.

Bei einer herkömmlichen Hysterese-Magnetkupplung nimmt das übertragene Drehmoment mit dem Schlupf zwischen dem magnetischen Induktor und dem magnetischen Anker zu. Dieses Phänomen ist darauf zurückzuführen, daß das bezüglich des magnetischen Ankers rotierende Magnetfeld Wirbelströme in dem magnetischen Anker erzeugt, die die Kuppelung zwischen dem magnetischen Induktor und dem magnetischen Anker erhöhen. Aufgrund der Patentanmeldung DE-A-2.139.009 ist bekannt, daß dieses Phänomen verstärkt wird, wenn der magnetische Anker mit einem Element ausgerüstet wird, das ein guter elektrischer Leiter ist. Dieses Element wird über dem ferromagnetischen Material des Rotors aufgebracht. Das übertragene Drehmoment der magnetischen Kupplung, das so erhalten wird, nimmt stark zu, wenn der Schlupf zwischen dem magnetischen Induktor und dem magnetischen Anker zunimmt.

In dem europäischen Patent EP-A-0.269.535 wird eine Hysterese-Magnetkupplung beschrieben, bei der das übertragene Drehmoment mit dem Schlupf zwischen dem magnetischen Anker und dem magnetischen Induktor nur geringfügig zunimmt. Bei dieser Kupplung wird eine ferromagnetisches Hysterese-material, das ein schlechter elektrischer Leiter ist, für den magnetischen

Induktor verwendet, was zu einer Abnahme der Wirbelströme führt. Das ferromagnetische Hysteresematerial ist, genauer gesagt, eine gegossene Verbundpaste, die eine Grundmasse auf der Basis eines Harzes aufweist, in der Partikel aus einem magnetischen Hysteresematerial verteilt sind. Die Arbeitstemperatur dieses Verbundmaterials muß auf 100°C begrenzt werden, um seine Zerstörung zu verhindern.

Für einige Anwendungen wird jedoch empfohlen, eine Kupplung mit einer negativen Kennlinie zu verwenden, das heißt, eine Kupplung, bei der das übertragene Drehmoment abnimmt, wenn der Schlupf zunimmt. Das Ziel der vorliegenden Erfindung ist, eine Kupplung zu verwirklichen, bei der das übertragene Drehmoment umkehrbar abnimmt, wenn der Schlupf zunimmt.

Dieses Ziel wird durch eine Hysterese-Magnetkupplung erreicht, bei der das ferromagnetische Hysteresematerial mindestens einen Ring bildet, der in dem äußeren Rotor so angebracht ist, daß er einer umkehrbaren thermischen Expansion seines inneren Durchmessers unterworfen werden kann, die zu einer Vergrößerung des radialen Luftspaltes führt. Außerdem ist die Kupplung so entworfen, daß die Erwärmung des ferromagnetischen Materials, die mit einer Zunahme des Schlupfes verbunden ist, eine Vergrößerung des radialen Luftspaltes hervorruft, die genügt, um das übertragene Drehmoment umkehrbar zu verringern.

Der hauptsächliche Vorteil der Erfindung ist, daß Hysterese-Magnetkupplungen - die robuste, zuverlässige und relativ preiswerte Kupplungen sind - jetzt bei Anwendungen verwendet werden können, für die eine "negative Kennlinie" der Kupplung (das heißt, eine Abnahme des übertragenen Drehmomentes, wenn der Schlupf zunimmt) empfohlen wird. In der Tat, die neue Kupplung macht es nicht nur möglich, den Einfluß möglicher Wirbelströme auf die Kuppelung zwischen dem drehbaren magnetischen Induktor und dem Rotor, der das ferromagnetische Hysteresematerial trägt, zu kompensieren, sondern auch, eine umkehrbare Abnahme des übertragenen

Drehmomentes zu erhalten, wenn der Schlupf zwischen dem Rotor und dem magnetischen Induktor zunimmt. Eine solche "negative Kennlinie" konnte bisher nur mit elektromagnetischen Kupplungen erreicht werden, die mit Systemen zur Regelung des Versorgungstroms ausgerüstet waren, die sowohl kompliziert, als auch teuer sind.

Es ist bekannt, daß die in dem ferromagnetischen Hysteresematerial in Wärme umgewandelte Energie im wesentlichen proportional zu der Frequenz ist, mit der das Magnetfeld die Polarität ändert. Mit anderen Worten, die Temperatur des ferromagnetischen Hysteresematerials ist im wesentlichen proportional zu dem Schlupf zwischen dem magnetischen Induktor und dem ferromagnetischen Hysteresematerial. Die Arbeitstemperatur des ferromagnetischen Hysteresematerials nimmt folglich von einer Temperatur T_1 auf eine Temperatur T_2 zu, wenn der Schlupf von V_1 auf V_2 zunimmt. Bei der erfindungsgemäßen Hysteresemagnetkupplung nimmt der innere Durchmesser des ferromagnetischen Hystereserings mit der Temperatur zu, was zu einer umkehrbaren Zunahme der radialen Luftspaltes von e_1 auf e_2 führt. Da bekannt ist, daß das übertragene Drehmoment umgekehrt proportional zu der dritten Potenz der radialen Vergrößerung des Luftspaltes ist, ergibt sich, daß bereits eine sehr kleine Zunahme des Luftspaltes eine große Verringerung des übertragenen Drehmomentes hervorruft.

Um die gewünschte Abnahme des Drehmomentes zu erhalten, ist es erforderlich, eine geeignete Positionierung der Arbeitstemperaturen T_1 und T_2 in dem Arbeitsbereich des ferromagnetischen Hysteresematerials vorzunehmen. Diese Positionierung kann erreicht werden durch Einwirkung auf eine große Anzahl von Parametern, wie zum Beispiel: die Geometrie und die Abmessungen des ferromagnetischen Materials, die Intensität seiner Kühlung, die Stärke des Magnetfeldes, die Anzahl der Polaritätsumkehrungen des um den magnetischen Induktor herum vorhandenen Magnetfeldes, die Dicke des Luftspaltes, usw. Weiterhin sollte die thermische Trägheit der Kupplung so niedrig wie möglich sein, um eine rasche Erwärmung

und Abkühlung des ferromagnetischen Materials zu ermöglichen. Der Einfluß der verschiedenen Parameter auf den Kupplungs-entwurf wird entweder experimentell, oder mit Hilfe eines rechnergestützten Modells der Kupplung kontrolliert.

5 Eine Kupplung mit einem radialen Luftspalt hat viele Vorteile gegenüber einer Kupplung mit einem axialen Luftspalt. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, anzumerken, daß Hysteresemagnetkupplungen mit einem radialen Luftspalt nach dem Stand der Technik kaum bekannt sind. Folglich wird es
10 geschätzt werden, wenn kostbare technische Informationen über das Gebiet der Magnetkupplungen mit radialem Luftspalt zu dem Stand der Technik hinzugefügt werden.

Das ferromagnetische Material ist vorzugsweise ein Material mit einem hohen spezifischen Widerstand. Auf diese
15 Weise haben die Wirbelströme, die in dem ferromagnetischen Material erzeugt werden, eine geringe Stärke. Dies hat zur Folge, daß nur eine sehr kleine Zunahme des übertragenen Drehmomentes kompensiert werden muß, wenn der Schlupf zunimmt. Danach ist ein kleinerer Temperaturanstieg in dem Gebiet des
20 ferromagnetischen Materials ausreichend, um die gewünschte Abnahme des übertragenen Drehmomentes zu erhalten.

Ausgezeichnete Ergebnisse werden erhalten, wenn ein gesintertes Material, das auf elektrisch isolierten ferro-
magnetischen Metallpulvern basiert, als ferromagnetisches
25 Material verwendet wird. Es wird geschätzt werden, daß diese gesinterten Materialien bessere magnetische Eigenschaften und eine höhere Arbeitstemperatur haben als die Verbundmaterialien, die in einem Harz verteilte ferromagnetische Partikel aufweisen.

30 Die erfindungsgemäße Kupplung mit einem radialen Luftspalt weist in vorteilhafter Weise einen magnetischen Induktor auf, der aus einer Vielzahl von auf einer Welle angebrachten Rädern besteht, wobei jedes dieser Räder auf einem peripheren radialen Ring eine Vielzahl von Permanentmagneten trägt. Diese
35 Ausführung bietet unter anderem eine zusätzliche Möglichkeit zur Anpassung und Einstellung der Kupplung durch Änderung der

Anzahl der verwendeten Induktorräder. Das ferromagnetische Hysteresematerial des Rotors wird in diesem Fall in vorteilhafter Weise über eine Vielzahl von Ringen verteilt, die axial voneinander getrennt sind. Jeder dieser Ringe umgibt eines der Räder, wodurch er mit diesem Rad einen radialen Luftspalt definiert. Diese Ausführungsform macht es möglich, infolge der geringen Masse der einzelnen Ringe eine bessere Kontrolle der Temperaturänderung, der das ferromagnetische Material unterworfen wird, zu erreichen. Eine optimal kontrollierte Kühlung des Rotors, der diese ferromagnetischen Ringe trägt, wird durch in der Längsrichtung verlaufende Rotor-Kühlrippen erreicht.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann die radiale Überdeckung zwischen einigen oder allen magnetischen Induktorrädern und den zugehörigen ferromagnetischen Ringen durch Änderung ihrer axialen Ausrichtung eingestellt werden. Dieses Merkmal ermöglicht, das übertragene Drehmoment fein einzustellen.

Vorzugsweise trägt jedes der Räder des magnetischen Induktors eine große Anzahl von kleinen Magneten, die eine Poloberfläche in der Größenordnung von nur einigen zehn Quadratmillimetern haben. Daher ist es möglich, das Magnetfeld genau zu optimieren, um die für die Kupplung gewählten Entwurfskriterien (z.B. Stärke des Magnetfeldes, Anzahl der Umkehrungen der magnetischen Polarität pro Ring) zu erfüllen.

Dabei ist anzumerken, daß die Kupplung in vorteilhafter Weise so entworfen wird, daß beim Erwärmen ihrer Permanentmagnete bei dem kontinuierlichen Betriebsmodus gleichzeitig die Räder erwärmt werden, die diese Permanentmagnete tragen. Die Räder sollen dabei so entworfen sein, daß die sich ergebende Zunahme ihres Durchmessers eine Abnahme des von den Permanentmagneten erzeugten Feldes durch eine Verkleinerung des Luftspaltes automatisch kompensiert. Dies hat zur Folge, daß die Erwärmung der Kupplung während des kontinuierlichen Betriebs den Wert des übertragenen Drehmomentes überhaupt nicht, oder nur geringfügig beeinflusst.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird auch eine Einhol/Auslege-Vorrichtung (bzw. eine Aufwickel/Abwickel-Vorrichtung) verwirklicht, die einen Antriebsmotor und eine Einhol/Auslege-Trommel (bzw. eine Aufwickel/Abwickel-Trommel) aufweist. Diese Vorrichtung ist durch eine erfindungsgemäße Hysterese-Magnetkupplung gekennzeichnet. Der magnetische Induktor dieser Kupplung ist mit der Einhol/Auslege-Trommel gekuppelt, und der Rotor, der das ferromagnetische Hysterese-material trägt, ist mit dem Antriebsmotor gekuppelt. Diese Vorrichtung zeichnet sich in vorteilhafter Weise dadurch aus, daß das Einholdrehmoment größer ist als das während des Auslegevorgangs entwickelte Bremsdrehmoment. Die Kuppelung des Rotors, der das ferromagnetische Hysterese-material trägt, mit dem Antriebsmotor ergibt eine optimale konstante Kühlung des ferromagnetischen Hysterese-materials, weil der Rotor auf diese Weise eine hohe und nahezu konstante Drehzahl hat.

Die Einhol/Auslege-Vorrichtung wird in vorteilhafter Weise mit einem zwischen dem Rotor und der Einhol/Auslege-Trommel angeschlossenen Drehzahlminderer oder Untersetzungsgetriebe ausgerüstet. Der Zweck dieses Drehzahlminderers ist, sowohl den maximalen Schlupf während des Auslegevorgangs, als auch die Änderung des Schlupfes zwischen dem Einholvorgang und dem Auslegevorgang zu verringern. Es wird geschätzt werden, daß bei einer Kupplung der vorliegenden Erfindung das Untersetzungsverhältnis dieses Drehzahlminderers verringert werden kann, da eine Zunahme des Schlupfes nicht mehr zu einer Zunahme des übertragenen Drehmomentes führt. Außerdem wird gezeigt werden, daß der Effekt des Wirkungsgrades des Drehzahlminderers auf die Kennlinie der Einhol/Auslege-Vorrichtung durch die negative Kennlinie der Kupplung kompensiert wird.

Es bleibt jedoch anzumerken, daß die Verwendung einer erfindungsgemäßen Kupplung nicht auf eine Einhol/Auslege- bzw. Aufwickel/Abwickel-Vorrichtung begrenzt ist. Ihre Eigenschaften, insbesondere ihre "negative Kennlinie" werden bei vielen anderen Verwendungen geschätzt werden.

Weitere Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der ausführlichen Beschreibung einer typischen Anwendung und von bevorzugten Ausführungsformen auf der Grundlage der beigefügten Figuren, die Folgendes darstellen:

- Die Figur 1 ist eine schematische Ansicht einer Einhol/Auslege-Vorrichtung für ein elektrisches Stromkabel, mit dem ein Portalkran ausgerüstet ist.

- Die Figur 2 ist ein Diagramm, das für eine Hysterese-Magnetkupplung des Standes der Technik die Abhängigkeit des übertragenen Drehmomentes von dem Schlupf wiedergibt.

- Die Figur 3 ist ein ähnliches Diagramm wie die Figur 2, das für die Hysterese-Magnetkupplung der vorliegenden Erfindung die typische Abhängigkeit des übertragenen Drehmomentes von dem Schlupf wiedergibt.

- Die Figur 4 ist ein Längsschnitt einer bevorzugten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Hysterese-Magnetkupplung.

- Die Figur 5 ist ein Querschnitt der gleichen Kupplung wie in der Figur 4.

- Die Figur 6 ist ein Detail des Längsschnitts der Kupplung der Figur 4.

- Die Figur 7 ist eine Detailansicht eines magnetischen Induktorrades der Kupplung der Figur 4.

- Die Figur 8 ist ein Längsschnitt einer speziellen Ausführungsform der Hysterese-Magnetkupplung der Figur 4.

Um die Dinge klarer und leichter verständlich zu machen, wird zuerst zur Veranschaulichung eine Beschreibung eines Beispiels einer typischen Anwendung einer erfindungsgemäßen Kupplung wiedergegeben. Die Figur 1 ist eine schematische Darstellung einer Einhol/Auslege-Vorrichtung 10, mit der ein Portalkran oder Turmkran 12 ausgerüstet ist. Die Funktion dieser Einhol/Auslege-Vorrichtung 10 ist, ein elektrisches Stromkabel 14 einzuholen oder alternativ auszulegen, während der Portalkran sich auf einem Gleisabschnitt zwischen zwei entgegengesetzten Endpositionen bewegt. Ein Ende

des Kabels 14 ist bei einem festen Punkt 16, der meistens in einer mittleren Position zwischen den zwei Endpositionen angeordnet ist, an dem Erdboden befestigt. Das andere Ende des Kabels 14 ist auf eine Einhol/Auslege-Trommel 18 aufgewickelt, die an dem beweglichen Portalkran 12 befestigt ist. Die Kenn-
5 ziffer 20 bezeichnet einen in dem Erdboden angebrachten Kanal, in den das Kabel 14 gelegt wird, wenn es von der Einhol/Auslege-Trommel 18 abgewickelt wird. Die Einhol/Auslege-Vorrichtung 10 weist außerhalb der Einhol/Auslege-Trommel 18
10 einen Antriebsmotor 22, eine Hysterese-Magnetkupplung 24, und meistens einen Drehzahlminderer 25 auf. Der Motor 22, meistens ein asynchroner Drehstrommotor, der sich zum Beispiel mit einer Drehzahl von 1440 Upm dreht, ist mit einer Eingangswelle 26 der Hysterese-Magnetkupplung 24 gekuppelt. Eine Ausgangs-
15 welle 28 der Hysterese-Magnetkupplung 24 ist über den Drehzahlminderer 25 mit der Einhol/Auslege-Trommel 18 gekuppelt.

Wenn sich der Portalkran 12 von seiner mittleren Position in Richtung einer seiner zwei Endpositionen bewegt, wird das Kabel 14 durch die Einhol/Auslege-Trommel 18
20 abgewickelt, um in den Kanal 20 gelegt zu werden. Die Einhol/Auslege-Vorrichtung 10 muß während dieses Vorgangs ein Bremsdrehmoment erzeugen, das das Kabel 14 beim Abwickeln unter einer mechanischen Spannung hält. Dabei ist anzumerken, daß die Drehrichtung der Einhol/Auslege-Trommel 18 während des
25 Auslegevorgangs entgegengesetzt zu derjenigen des Motors 22 ist.

Wenn der Portalkran 12 zu seiner mittleren Position zurückkehrt, wird das Kabel 14 auf die Einhol/Auslege-Trommel 18 aufgewickelt. Die Einhol/Auslege-Vorrichtung 10 muß nun ein
30 Arbeitsdrehmoment erzeugen, das ausreicht, um das Kabel 14 aus seinem Kanal 16 herauszunehmen, hochzuheben, und auf die Einhol/Auslege-Trommel 18 aufzuwickeln. Dabei ist anzumerken, daß während des Einholvorgangs die Drehrichtung der Einhol/Auslege-Trommel 18 die gleiche wie diejenige des Motors 22
35 ist.

Wenn sich der Portalkran 12 nicht mehr bewegt, muß die

Einhol/Auslege-Vorrichtung 10 ebenfalls ein Drehmoment liefern, um die Einhol/Auslege-Trommel 18 zu bremsen, damit das Kabel 14 unter einer mechanischen Spannung gehalten wird. Dabei ist anzumerken, daß sich die Einhol/Auslege-Trommel 18 nicht mehr dreht, während sich der Motor 22 immer noch mit seiner Nenndrehzahl von zum Beispiel 1440 Upm dreht.

Die Figur 2 stellt das Verhalten einer Hysterese-Magnetkupplung 24 des Standes der Technik bei der Einhol/-Auslege-Vorrichtung 10 der Figur 1 graphisch dar. Auf der Abszisse ist der Schlupf (d.h. die relative Drehzahl) zwischen dem magnetischen Induktor und dem magnetischen Anker einer solchen Kupplung 24 aufgetragen, und auf der Ordinate ist das Drehmoment am Ausgang der Kupplung 24 aufgetragen. Der Schlupf V_0 entspricht dem Fall, in dem sich die Ausgangswelle 28 nicht mehr dreht, während sich der Motor immer noch mit seiner Nenndrehzahl dreht. Dies ist die Situation, in der sich der Portalkran 12 nicht mehr bewegt. Schlupfwerte unter V_0 entsprechen Situationen, in denen sich die Ausgangswelle 28 in der gleichen Richtung wie der Motor 22 dreht. Dies ist der Fall beim Einholen des Kabels 14. Schlupfwerte über V_0 entsprechen Situationen, in denen sich die Ausgangswelle 28 in der zu der Drehrichtung des Motors 22 entgegengesetzten Richtung dreht. Dies ist der Fall beim Auslegen des Kabels 14.

Die Kurve (1', 2') gibt die theoretische Kennlinie der Hysterese-Magnetkupplung wieder. Das zwischen dem magnetischen Induktor und dem magnetischen Anker übertragene Drehmoment ist unabhängig von dem dazwischen vorhandenen Schlupf. In der Praxis wird jedoch gefunden, daß das zwischen dem magnetischen Induktor und dem magnetischen Anker übertragene Drehmoment mit dem Schlupf zunimmt (siehe die Kurve (1, 2)). Dieses Phänomen ist darauf zurückzuführen, daß der magnetische Induktor, der sich relativ zu dem magnetischen Anker dreht, in dem ferromagnetischen Hysterese material des magnetischen Ankers Wirbelströme erzeugt, die die Kuppelung zwischen dem magnetischen Anker und dem magnetischen Induktor verstärken. In der Figur 2 ist zu sehen, daß das während des Einholens des Kabels 14

übertragene Drehmoment CT_1 wesentlich kleiner ist als das während des Auslegens des Kabels 14 übertragene Drehmoment CT_2 .

5 Wenn die minimale Zugkraft, die bei der Einhol/Auslege-Trommel 18 auf das Kabel wirken muß, um es aus dem Kanal 20 herauszuziehen, wieder hochzuheben, und auf die Einhol/Auslege-Trommel 18 aufzuwickeln, mit $T(MIN)$ bezeichnet wird, ergibt sich für das minimale Drehmoment, das die Ausgangswelle 28 der Kupplung 24 benötigt, um $T(MIN)$ hervorzurufen:

10

$$CT_1 = (D_2/2) * T(MIN) * (r/n) \quad (1)$$

wobei:

15 D_2 der äußere Durchmesser der Einhol/Auslege-Trommel 18 ist;
 n der Wirkungsgrad des Drehzahlminderers 25 ist;
 r das Untersetzungsverhältnis des Drehzahlminderers 25 ist.

20 Die bei der Einhol/Auslege-Trommel 18 auf das Kabel 14 wirkende Zugkraft erreicht ein Maximum, wenn sich der Vorgang zum Einholen des Kabels 14 seinem Ende nähert, das heißt, wenn die Drehzahl zwischen dem magnetischen Induktor und dem magnetischen Anker bei einem Maximum ist. Wenn diese Zugkraft
25 als eine Funktion des Bremsdrehmomentes CT_2 an der Ausgangswelle 28 der Kupplung 24 ausgedrückt wird, ergibt sich:

$$T(MAX) = (2/D_1) * CT_2 * (1/r) * (1/n) \quad (2)$$

30 wobei:

D_1 der innere Durchmesser der Einhol/Auslege-Trommel 18 ist.

Aus (1) und (2) ergibt sich:

35

$$T(MAX) = (D_2/D_1) * (CT_2/CT_1) * (1/n^2) * T(MIN) \quad (3)$$

Bei dieser Gleichung (3) kann zum Beispiel angenommen werden: $(D_2/D_1)=3$; $n=0,9$; wobei sich ergibt:

$$T(\text{MAX}) = 3,7 * (CT_2/CT_1) * T(\text{MIN}) \quad (4)$$

5

Ohne irgendwelche Vorsichtsmaßnahmen, um Wirbelströme in dem ferromagnetischen Hysteresematerial zu verhindern, wird das Verhalten durch die Kurve (1, 2) der Figur 2 beschrieben. CT_2 ist um ungefähr 100% größer als CT_1 , das heißt, $T(\text{MAX})$ ist ungefähr 7,4-mal so groß wie $T(\text{MIN})$.

10

Wenn geeignete Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um Wirbelströme in dem ferromagnetischen Hysteresematerial zu verhindern, ist es natürlich möglich, das Verhalten der Kupplung des Standes der Technik an das Verhalten anzunähern, das durch die theoretische Kurve (1', 2') in dem Diagramm der Figur 2 beschrieben wird. Aber selbst in diesem Fall, wo CT_1 im wesentlichen gleich CT_2 ist, ist $T(\text{MAX})$ noch 3,7-mal so groß wie $T(\text{MIN})$.

15

In funktionaler Hinsicht gibt es bei der Einhol/-Auslege-Vorrichtung 10 jedoch keinen Grund, eine Zugkraft zu haben, die größer als $T(\text{MIN})$ ist. Bei dem mechanischen Entwurf des Kabels ist es natürlich notwendig, $T(\text{MAX})$ und nicht $T(\text{MIN})$ zu berücksichtigen, was zu einer nennenswerten mechanischen Überdimensionierung des Kabels 14 führt.

20

Die Figuren 4 bis 7 geben Konstruktionsdetails einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Hysterese-Magnetkupplung wieder. Die Figur 4 zeigt, daß die Eingangswelle 26 und die Ausgangswelle 28 in einem Rahmen 50 coaxial getragen werden, zum Beispiel mittels Wälzlager 52 und 54. Die Eingangswelle 26 ist an einem magnetischen Anker 56 starr befestigt, während die Ausgangswelle 28 an einem magnetischen Induktor 58 starr befestigt ist.

25

30

Der magnetische Induktor 58 weist eine Vielzahl von Rädern 60, 61, 62, 63 auf, die alle an der Ausgangswelle 28 starr befestigt sind, so daß sie ein Drehmoment auf die Ausgangswelle 28 übertragen können. Jedes dieser Räder 60, 61,

35

62, 63 ist mit einem peripheren Ring 64 ausgerüstet (siehe Figur 6), der Permanentmagnete 66 trägt, die ein Magnetfeld erzeugen. Anstatt eine relativ kleine Anzahl von Permanentmagneten mit einer großen Poloberfläche (zum Beispiel AlNiCo-Magnete) zu verwenden, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, eine große Anzahl von kleinen Permanentmagneten mit großer magnetischer Dichte zu verwenden, die eine kleine Poloberfläche (zum Beispiel in der Größenordnung von 50 bis 100 mm²) haben. Dabei ist anzumerken, daß jedes Rad des magnetischen Induktors 58 zum Beispiel mehr als hundert kleine Permanentmagnete 66 umfassen kann. In der Figur 7, die eine Ansicht des peripheren Rings 64 eines Rades 60 des magnetischen Induktors wiedergibt, ist zu sehen, daß die Permanentmagnete 66 die Form von zylindrischen Stäbchen haben, die einfach in blinde Bohrungen 68, die in dem peripheren Ring 64 angebracht sind, eingesetzt sind. Die Permanentmagnet-"Stäbchen" 66 werden in diesen blinden Bohrungen 68 durch magnetische Anziehung festgehalten.

Die Nebeneinanderanordnung einer großen Anzahl von Permanentmagneten 66 mit einer kleinen Poloberfläche macht es möglich - zum Beispiel durch Änderung der Polarität der nach außen gerichteten Poloberflächen und der Stärke der einzelnen Magnete und ihrer Anordnung auf dem peripheren Ring 64 - das um ein Rad 60 des magnetischen Induktors 58 herum erzeugte Magnetfeld fein abzustimmen. Ein Fachmann auf diesem Gebiet wird es zu schätzen wissen, daß ihm ein einfaches Mittel zur Optimierung des Magnetfeldes zur Verfügung steht.

Der magnetische Anker 56 weist einen äußeren Rotor 70 auf, der den magnetischen Induktor 58 umgibt. Dieser äußere Rotor 70 ist an einer Seite der Eingangswelle 26 starr befestigt, so daß er ein Drehmoment von der Eingangswelle 26 aufnehmen kann. Auf der axial entgegengesetzten Seite liegt der äußere Rotor 70, in vorteilhafter Weise über ein Wälzlager 72, auf der Ausgangswelle 28 auf. Außerdem wird die Ausgangswelle 28 bei ihrem freien Ende in vorteilhafter Weise in einem Wälzlager 74 getragen, das auf der Seite, die der Eingangs-

welle 26 gegenüberliegt, in den äußeren Rotor 70 integriert ist. Rippen 76 erstrecken sich in der axialen Richtung längs der äußeren peripheren Oberfläche des äußeren Rotors 70, wobei sie den äußeren Rotor 70 wirksam kühlen (siehe Figur 5).

5 Der äußere Rotor 70 dient zum Tragen des ferromagnetischen Hysteresematerials. Das ferromagnetische Hysteresematerial umgibt die peripheren Ringe 64 der Räder 60, 61, 62, 63 des magnetischen Induktors 58 ringförmig, wodurch ein radialer Zwischenraum oder Luftspalt 78 zwischen dem
10 ferromagnetischen Hysteresematerial und den Permanentmagneten 66 definiert wird (siehe Figur 6). Zur Veranschaulichung kann angemerkt werden, daß dieser radiale Zwischenraum 78 zum Beispiel einige Zehntelmillimeter betragen kann.

 Bei der in den Figuren 4 und 6 wiedergegebenen Aus-
15 führungsform ist jedes Rad 60, 61, 62, 63 des magnetischen Induktors mit einem aus ferromagnetischem Hysteresematerial bestehenden, getrennten Ring 80, 81, 82, 83 kombiniert. Jeder dieser Ringe 80, 81, 82, 83 ist zum Beispiel in einer Rille 84 der inneren Wand des äußeren Rotors 70 untergebracht. Ein
20 elastisches Material 85, zum Beispiel Silikon, sorgt für die Haftung zwischen der äußeren Wand des Rings 80 und der inneren Wand des äußeren Rotors 70, während es gleichzeitig die umkehrbare thermische Expansion des Rings 80 zuläßt (siehe Figur 6). Die Ringe 80, 81, 82, 83 könnten jedoch auch mit
25 Hilfe mechanischer Mittel, zum Beispiel durch Schrauben, befestigt werden. Radiale elastische Abstandsstücke, zum Beispiel aus elastomerem Material bestehende Elemente, ermöglichen in diesem Fall ihre umkehrbare thermische Expansion. Es ist auch anzumerken, daß die Ringe 80, 81, 82,
30 83 Ringe sein können, die aus einem einzigen Stück eines ferromagnetischen Hysteresematerials bestehen, oder Ringe sein können, die aus einer Vielzahl von Ringsegmenten aus ferromagnetischem Hysteresematerial bestehen, die dann auf der Innenseite eines zweiten Rings aus einem Material, das nicht
35 unbedingt ferromagnetisch ist, befestigt werden. Dieser zweite Ring wird dann durch die aus ferromagnetischem Hysteresematerial

material bestehenden Segmente erwärmt, wodurch er diametral expandiert und die Vergrößerung des radialen Luftspaltes hervorruft, die zu der gewünschten Verringerung des übertragenen Drehmomentes führt.

5 Das verwendete ferromagnetische Hysteresematerial ist vorzugsweise ein gesintertes Material, das aus Metalloxidpulvern (zum Beispiel Fe_2O_3 -Pulver) besteht, die elektrisch isoliert sind. Das so erhaltene Material hat einen hohen isotropen elektrischen Widerstand, der die Erzeugung von
10 Wirbelströmen in dem magnetischen Anker wirksam verhindert. Außerdem sind seine magnetischen Eigenschaften ausgezeichnet, und seine Arbeitstemperatur ist relativ hoch. Um ein ähnliches Ergebnis zu erhalten, wäre es jedoch auch möglich, ein fein laminiertes Material zu verwenden, bei dem Bleche aus ferromagnetischem Hysteresematerial durch einen dielektrischen Film
15 voneinander getrennt sind. Ein wichtiges Merkmal der vorgeschlagenen magnetischen Kupplung besteht in ihrem Entwurf. Das in dem ferromagnetischen Hysteresematerial induzierte, variable Magnetfeld erzeugt darin eine Wärmeenergiemenge, die
20 proportional zu der Frequenz ist, mit der sich das Magnetfeld ändert, und daher proportional zu dem Schlupf zwischen dem magnetischen Induktor 58 und dem magnetischen Anker 56 ist. Je mehr der Schlupf zunimmt, desto mehr nimmt die in dem ferromagnetischen Hysteresematerial freigesetzte Wärmeenergie zu.
25 Eine Erwärmung des ferromagnetischen Hysteresematerials ruft eine Zunahme des inneren Durchmessers der Ringe 80, 81, 82, 83 hervor, so daß der radiale Luftspalt 78 größer wird. Gemäß der vorliegenden Erfindung ist die Kupplung so entworfen, daß die Erwärmung des ferromagnetischen Hysteresematerials beim
30 Übergang von dem minimalen Schlupf (V_1) auf den maximalen Schlupf (V_2) die Vergrößerung des radialen Spaltes hervorruft, die erforderlich ist, um die gewünschte Abnahme des übertragenen Drehmomentes hervorzurufen. Dabei ist anzumerken, daß die für diesen Zweck notwendige radiale Expansion sehr klein
35 ist, da das übertragene Drehmoment umgekehrt proportional zu der dritten Potenz der radialen Vergrößerung des Luftspaltes

zwischen den Magneten 66 und den Ringen 80, 81, 82, 83 ist.

Um diesen Entwurf der Kupplung zu erhalten, können zum Beispiel einer oder mehr der folgenden Parameter geändert werden: die physikalischen Eigenschaften des ferromagnetischen Hysteresematerials (thermische Expansion, thermische Leitfähigkeit, Dichte, usw.); die Masse, die Dicke und der innere Durchmesser der Ringe 80, 81, 82, 83; der Wärmeübergang zwischen den Ringen 80, 81, 82, 83 und dem äußeren Rotor 70 (eventuell Verwendung einer dazwischen angeordneten thermischen Isolierung); der Entwurf des äußeren Rotors 70 (Materialien, Abmessungen der Rippen 76, usw.); die Antriebsdrehzahl des äußeren Rotors 70; die radiale Abmessung des Luftspaltes 78; die Stärke des durch die Permanentmagneten 66 erzeugten Feldes; die Anzahl der Umkehrungen der Polarität des Magnetfeldes, das jedes Rad 60, 61, 62, 63 des magnetischen Induktors 58 umgibt; usw.

Die Figur 3 gibt in einem ähnlichen Diagramm wie in der Figur 2 das Verhalten einer erfindungsgemäßen Magnetkupplung bei der Einhol/Auslege-Vorrichtung der Figur 1 wieder. Wenn der Portalkran 12 sich nicht mehr bewegt, ist der Schlupf zwischen dem magnetischen Induktor 58 und dem Anker 56 gleich V_0 , und das Bremsdrehmoment gleich CT_0 . Diese Situation entspricht dem Punkt 0 in dem Diagramm, wobei die Betriebstemperatur des ferromagnetischen Hysteresematerials T_0 ist. Wenn das Kabel 14 abgewickelt wird, nimmt der Schlupf von V_0 auf V_2 zu. Das Bremsdrehmoment bleibt konstant, zumindest anfänglich, da in dem ferromagnetischen Hysteresematerial keine Wirbelströme erzeugt werden. Der Betriebspunkt bewegt sich von dem Punkt 0 nach dem Punkt 02. Die Zunahme des Schlupfes von V_0 auf V_2 bewirkt jedoch, daß sich das ferromagnetische Hysteresematerial von der Temperatur T_0 auf die Temperatur T_2 erwärmt. Infolge dieser Erwärmung vergrößert sich der radiale Luftspalt von e_0 auf e_2 , was sich in einer Abnahme des Bremsdrehmomentes von CT_0 auf CT_2 , das heißt, durch Übergang in dem Diagramm der Figur 3 von dem Punkt 02 nach dem Punkt 2 bemerkbar macht. Wenn die aus ferromagneti-

schen Hysteresematerialien bestehenden Elemente eine relativ kleine Masse haben, wie bei der Kupplung der Figuren 4 bis 7 der Fall ist, erfolgt der Übergang von ihrer Betriebstemperatur T_0 nach der Temperatur T_2 rasch, wobei er kaum mehr als
5 einige zehn Sekunden (typisch 20 Sekunden bei einer Prototyp-Kupplung) erfordert.

Wenn der Portalkran 14 angehalten wird, nimmt der Schlupf von V_2 auf V_0 ab, das heißt, der Betriebspunkt geht von dem Punkt 2 nach dem Punkt 20 über. Gleichzeitig nehmen
10 die durch die Hysterese hervorgerufenen Verluste in dem magnetischen Anker ab, und die Betriebstemperatur des ferromagnetischen Hysteresematerials fällt von T_2 auf T_0 ab. Dies hat eine Verkleinerung des radialen Luftspaltes von e_2 auf e_0 , und folglich eine Zunahme des Bremsdrehmomentes von
15 CT_2 auf CT_0 zur Folge, wodurch zu dem Ausgangspunkt 0 in dem Diagramm der Figur 3 zurückgekehrt wird.

Wenn das Kabel 14 aufgewickelt wird, nimmt der Schlupf von V_0 auf V_1 ab. Das am Ausgang der Magnetkupplung entwickelte Einholdrehmoment bleibt konstant, zumindest
20 während der ersten Sekunden, da in dem ferromagnetischen Hysteresematerial keine Wirbelströme erzeugt werden. Der Betriebspunkt bewegt sich von dem Punkt 0 nach dem Punkt 01. Die Abnahme des Schlupfes von V_0 auf V_1 ruft jedoch eine Abnahme der durch den Hystereseeffekt in dem ferromagnetischen
25 Hysteresematerial freigesetzten Energie hervor. Dies hat eine rasche Abnahme der Betriebstemperatur des ferromagnetischen Hysteresematerials von T_0 auf T_1 , und daher eine Verkleinerung des radialen Luftspaltes von e_0 auf e_1 , und folglich eine Zunahme des an dem Ausgang der Magnetkupplung 24 entwickelten
30 Drehmomentes von CT_0 auf CT_1 zur Folge. In dem Diagramm der Figur 3 entspricht dies dem Übergang von dem Punkt 01 nach dem Punkt 1.

Wenn der Portalkran 14 angehalten wird, nimmt der Schlupf wieder von V_1 auf V_0 zu, das heißt, der Betriebspunkt
35 geht von dem Punkt 1 nach dem Punkt 10 über. Gleichzeitig nehmen die durch die Hysterese hervorgerufenen Verluste in dem

magnetischen Anker zu, und die Betriebstemperatur des ferromagnetischen Hysteresematerials steigt wieder von T_1 auf T_0 an. Dies hat eine Vergrößerung des radialen Luftspaltes von e_1 auf e_0 , und folglich eine Abnahme des an dem Ausgang der Kupplung 24 entwickelten Drehmomentes zur Folge. Dies entspricht in dem Diagramm der Figur 3 der Rückkehr zu dem Ausgangspunkt 0.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Kupplung durch ein Ausgangsdrehmoment gekennzeichnet ist, das abnimmt, wenn der Schlupf zwischen dem magnetischen Induktor und dem magnetischen Anker zunimmt. Mit anderen Worten, das Aufwickel- oder Einholdrehmoment ist immer größer als das Brems- oder Auslegedrehmoment.

In der weiter oben angegebenen Gleichung (4) ist das Verhältnis CT_2/CT_1 jetzt kleiner als eins, wobei dies natürlich den Unterschied zwischen $T(\text{MAX})$ und $T(\text{MIN})$ verringert. Dies hat zur Folge, daß die mechanische Festigkeit des Stromkabels 14 bei der Einhol/Auslege-Vorrichtung 10 der Figur 1 bei einer Hysterese-Magnetkupplung der vorliegenden Erfindung kleiner sein kann als bei einer Kupplung des Standes der Technik.

Da bei der vorgeschlagenen Kupplung das übertragene Drehmoment CT abnimmt, wenn der Schlupf zunimmt, ist es möglich, größere Schlupfwerte zwischen dem magnetischen Induktor und dem magnetischen Anker zuzulassen. Dies kann darauf hinauslaufen, daß der Drehzahlminderer 25 ein kleineres Untersetzungsverhältnis hat und/oder der Motor 22 eine höhere Drehzahl hat.

Eine Hysterese-Magnetkupplung von der in den Figuren 4 bis 7 wiedergegebenen Art hat gegenüber Kupplungen des Standes der Technik viele Vorteile. Ein erster Vorteil ist, daß bei der Übertragung eines Drehmomentes von dem magnetischen Induktor auf den magnetischen Anker über den radialen Luftspalt ein viel größerer Hebelarm beteiligt ist als bei der Übertragung eines Drehmomentes über einen axialen Luftspalt, wie dies bei den meisten Hysterese-Magnetkupplungen des

Standes der Technik der Fall ist. Dies bedeutet, daß die Kupplung der Figur 4 zur Übertragung des gleichen Drehmomentes eine kleinere gesamte magnetische Induktion erfordert.

Ein zweiter Vorteil ist, daß eine Kupplung mit einem radialen Luftspalt, wie in der Figur 4 wiedergegeben, so entworfen werden kann, daß die allmähliche Verringerung des übertragenen Drehmomentes während des Betriebs der Kupplung kompensiert werden kann. Diese Verringerung des übertragenen Drehmomentes kann dadurch erklärt werden, daß sich die Permanentmagnete des magnetischen Induktors während eines längeren Betriebs erwärmen; wobei diese Erwärmung zu einer Abnahme der Stärke ihres Magnetfeldes führt. Die Erwärmung der Magnete wird hauptsächlich durch einen über den Luftspalt infolge Strahlung und Konvektion erfolgenden Wärmeübergang zwischen dem ferromagnetischen Hysteresematerial, das auf eine relativ hohe mittlere Arbeitstemperatur erwärmt wird, und den gegenüberliegenden Permanentmagneten erklärt. Bei einer Kupplung gemäß der Figur 4 kann nun diese allmähliche Verringerung des übertragenen Drehmomentes infolge der Erwärmung der Permanentmagnete 66 dadurch kompensiert werden, daß die thermische Expansion der Räder 60, 61, 62, 63, die mit der Erwärmung der Permanentmagnete 66 verbunden ist, ausgenutzt wird. Es genügt in der Tat, daß die Räder 60, 61, 62, 63 des magnetischen Induktors 58 so entworfen werden, daß ihre radiale Expansion eine Verkleinerung des radialen Luftspaltes 78 hervorruft, die ausreicht, um die Abnahme der Stärke des Magnetfeldes infolge der Erwärmung der Permanentmagnete 66 zu kompensieren. Dabei ist anzumerken, daß die für diesen Zweck notwendige Expansion sehr gering ist, da das übertragene Drehmoment umgekehrt proportional zu der dritten Potenz der radialen Vergrößerung des Luftspaltes zwischen den Magneten 66 und den Ringen 80, 81, 82, 83 ist. Da die Räder 60, 61, 62, 63 des magnetischen Induktors eine relativ große thermische Trägheit haben, werden sie von den Temperaturänderungen des ferromagnetischen Materials infolge der Änderungen des Schlupfes nicht oder nur sehr wenig beeinflusst.

Die Räder 60, 61, 62, 63 bestehen vorzugsweise aus einem Material mit einer hohen thermischen Leitfähigkeit. Der Wärmeübergang zwischen den Magneten 66 und dem peripheren Ring 64 der Räder 60, 61, 62, 63 des magnetischen Induktors sollte
5 so gut wie möglich sein. Eine wärmeleitende Paste kann verwendet werden, um die thermische Verbindung zwischen den Magneten 66 und den Rädern 60, 61, 62, 63 des magnetischen Induktors in den blinden Bohrungen 68 zu erhöhen.

Ein dritter beträchtlicher Vorteil ist, daß der magnetische Induktor, der aus einer Vielzahl von auf der Ausgangswelle 28 angeordneten Rädern 60, 61, 62, 63 besteht, spürbare Erleichterungen hinsichtlich des Entwurfs der Kupplung bietet. In der Tat, um das übertragene Drehmoment zu erhöhen, genügt es, ein weiteres Rad zu dem magnetischen Induktor 58, und
15 einen weiteren Ring zu dem magnetischen Anker 56 hinzuzufügen. Um das übertragene Drehmoment zu verringern, genügt es natürlich, ein Rad von dem magnetischen Induktor 58 abzunehmen. Da die Erwärmung des ferromagnetischen Hysteresematerials eine Funktion der Stärke des Magnetfeldes ist, ist es auch möglich,
20 die thermische Expansion der ferromagnetischen Ringe 80, 81, 82, 83 durch Wahl einer geeigneten Anzahl von Induktorrädern 60, 61, 62, 63 zu beeinflussen.

Ein vierter Vorteil einer Kupplung gemäß der Figur 4 besteht in der großen Anzahl von kleinen Magneten 66 pro Induktorrad 60, 61, 62, 63. Durch Änderung der Stärke, der
25 Polarität und der Verteilung dieser zahlreichen kleinen Magnete ist es möglich, das Magnetfeld, das jedes Rad 60, 61, 62, 63 umgibt, fein abzustimmen, und dadurch die thermische Expansion der ferromagnetischen Ringe 80, 81, 82, 83 zu
30 beeinflussen.

Ein fünfter Vorteil einer Kupplung von der in der Figur 4 wiedergegebenen Art besteht in dem Entwurf des magnetischen Ankers in Form von Ringen 80, 81, 82, 83, die die Räder 60, 61, 62, 63 des magnetischen Induktors 58 umgeben. Diese Ringe
35 80, 81, 82, 83 sind nämlich durch eine kleine Masse gekennzeichnet, und haben daher eine kleine thermische Trägheit, was

eine rasche Änderung ihrer Betriebstemperatur gewährleistet, wenn sich die durch den Hystereseeffekt in dem ferromagnetischen Material in Wärme umgewandelte Energie ändert. Ihre Kühlung ist ideal, da ihre Kontaktfläche mit dem äußeren Rotor 70 größer ist als ihre zu den Magneten 66 hin orientierte Fläche. In diesem Zusammenhang sollte auch angemerkt werden, daß ein radialer Luftspalt natürlich leichter und genauer hergestellt werden kann als ein axialer Luftspalt zwischen zwei sich drehenden Scheiben. Bei einer Kupplung mit einem radialen Luftspalt zwischen dem magnetischen Induktor und dem magnetischen Anker ist es folglich möglich, mit einem kleineren Luftspalt zu arbeiten als bei einer Kupplung mit einem axialen Zwischenraum zwischen dem magnetischen Induktor 58 und dem magnetischen Anker 56. Dies hat zur Folge, daß ein deutlich kleineres Magnetfeld benötigt wird, um das gleiche Drehmoment zu übertragen.

Ein sechster Vorteil einer Kupplung gemäß der Figur 4 besteht in dem Entwurf der Kühlung des äußeren Rotors 70. Die in den Ringen 80, 81, 82, 83 erzeugte thermische Energie wird über den kürzesten Weg, der möglich ist, unmittelbar zu den Längsrippen 76 hin abgeleitet, mit denen der äußere Rotor 70 ausgerüstet ist. Bei den meisten Hysterese-Magnetkupplungen sind die Wälzlager dagegen in der unmittelbaren Umgebung des ferromagnetischen Hysterese-materials gelegen und folglich einer Erwärmung viel mehr ausgesetzt.

Ein siebter Vorteil einer Kupplung gemäß der Figur 4 besteht in der Möglichkeit, die radiale Überdeckung der ferromagnetischen Ringe 80, 81, 82, 83 und der magnetischen Induktorräder 60, 61, 62, 63 leicht zu ändern, und dadurch das übertragene Drehmoment fein einzustellen. Die Figur 8 gibt eine bevorzugte Ausführungsform einer Kupplung wieder, bei der die radiale Überdeckung der ferromagnetischen Ringe 80, 81, 82, ... und der magnetischen Induktorräder 60, 61, 62, ... zwischen 0% und 100% kontinuierlich eingestellt werden kann, ohne die Kupplung zerlegen zu müssen. Die Räder 60, 61, 62, ... sind so zusammengebaut, daß sie einen starren Induktor-

block bilden. Die Welle 28 wird in diesem Induktorblock
gleitend geführt, ohne daran befestigt zu sein. Der Induktor-
block ist mit einer durch das Lager 72 axial geführten Hülse
90 starr verbunden. Diese Hülse 90 ist auf einen mit einem
5 Gewinde versehenen Bereich der Welle 28 aufgeschraubt. Daraus
ergibt sich, daß eine relative Drehung der Hülse 90 und der
Welle 28 eine axiale Verschiebung des Induktorblocks längs der
Welle 28 zur Folge hat. Um die Hülse 90 bezüglich einer
Drehung auf der Welle 28 zu blockieren, wird ein Stift 94
10 verwendet.

694 02 014.1-08

PATENTANSPRÜCHE

1. Hysterese-Magnetkupplung, aufweisend
einen externen Rotor (70), der ein ferromagnetisches
5 Hystereseematerial trägt, und
einen drehbaren magnetischen Induktor (58), der in dem
äußeren Rotor (70) so angeordnet ist, daß er einen radialen
Luftspalt (78) definiert, der auf der Außenseite durch das
ferromagnetische Hystereseematerial begrenzt wird, wobei der
10 Schlupf zwischen dem magnetischen Induktor (58) und dem
ferromagnetischen Hystereseematerial variabel ist,
gekennzeichnet durch
mindestens einen Ring (80, 81, 82, 83) aus ferro-
magnetischem Hystereseematerial, der in dem äußeren Rotor (70)
15 so angebracht ist, daß er einer umkehrbaren thermischen
Expansion seines inneren Durchmessers unterworfen werden kann,
die zu einer Vergrößerung des radialen Luftspaltes (78) führt,
wobei die Kupplung so entworfen ist, daß die Erwärmung des
ferromagnetischen Materials in dem mindestens einen Ring (80,
20 81, 82, 83), die mit einer Zunahme des Schlupfes verbunden
ist, eine umkehrbare Vergrößerung des radialen Luftspaltes
hervorrufen, die genügt, um das übertragene Drehmoment zu
verringern.
2. Kupplung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
25 das ferromagnetische Material ein Material ist, das einen
großen spezifischen elektrischen Widerstand hat.
3. Kupplung gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß
das ferromagnetische Material ein gesintertes Material ist,
das auf elektrisch isolierten Metallpulvern basiert.
- 30 4. Kupplung gemäß irgendeinem der Ansprüche 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet, daß der magnetische Induktor (58) eine Vielzahl von auf einer Welle (28) angebrachten Rädern (60, 61, 62, 63) aufweist, wobei jedes der Räder (60, 61, 62, 63) mit einem peripheren ersten Ring (64) ausgerüstet ist, der eine
5 Vielzahl von Permanentmagneten (66) trägt, und daß das ferromagnetische Hysteresematerial des äußeren Rotors (70) über eine Vielzahl von axial voneinander getrennten, zweiten Ringen (80, 81, 82, 83) verteilt ist, wobei jeder der zweiten Ringe (80, 81, 82, 83) einen der ersten Ringe (64) der Räder (60,
10 61, 62, 63) so umgibt, daß er mit diesem ersten Ring einen radialen Luftspalt (78) definiert.

5. Kupplung gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor, der die Ringe (80, 81, 82, 83) trägt, in der Längsrichtung verlaufende Kühlrippen (76) aufweist.

15 6. Kupplung gemäß irgendeinem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß jedes der Räder (60, 61, 62, 63) eine große Anzahl von kleinen Permanentmagneten (66) trägt.

7. Kupplung gemäß irgendeinem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kupplung so entworfen ist, daß
20 die Erwärmung bzw. Abkühlung ihrer Permanentmagnete (66) bei dem kontinuierlichen Betrieb mit der gleichzeitigen Erwärmung bzw. Abkühlung der Räder (60, 61, 62, 63) verbunden ist, die diese Permanentmagnete (66) tragen, so daß die sich dabei ergebende Änderung des Durchmessers der Räder (60, 61, 62, 63)
25 eine Abnahme bzw. eine Zunahme der Stärke des erzeugten Magnetfeldes durch eine Verkleinerung bzw. eine Vergrößerung des radialen Luftspaltes (78) automatisch kompensiert.

8. Kupplung gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß
30 mindestens einer der Ringe (80, 81, 82, 83) des ferromagnetischen Hysteresematerials eine äußere zylindrische Oberfläche hat,

daß der äußere Rotor (70) eine entsprechende innere zylindrische Oberfläche hat, und

35 daß ein elastisches Klebematerial die äußere zylindrische Oberfläche des mindestens einen Rings (80, 81, 82, 83) mit der inneren zylindrischen Oberfläche des äußeren Rotors

(70) auf klebende und elastische Weise verbindet.

9. Kupplung gemäß irgendeinem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der radiale Luftspalt (78) eine radiale Dicke in der Größenordnung von einigen Zehntel-

5 millimetern hat.

10. Einhol/Auslege-Vorrichtung, aufweisend einen Antriebsmotor (22), und eine Einhol/Auslege-Trommel (18),

gekennzeichnet durch

10 eine Hysterese-Magnetkupplung (24) gemäß irgendeinem der Ansprüche 1 bis 9, bei der

der äußere Rotor (70) mit dem Antriebsmotor (22) verbunden ist, und

15 der magnetische Induktor (58) mit der Einhol/Auslege-Trommel (18) verbunden ist.

11. Einhol/Auslege-Vorrichtung gemäß Anspruch 10, gekennzeichnet durch einen zwischen dem magnetischen Induktor (58) und der Einhol/Auslege-Trommel (18) angeschlossenen Drehzahlminderer (25).

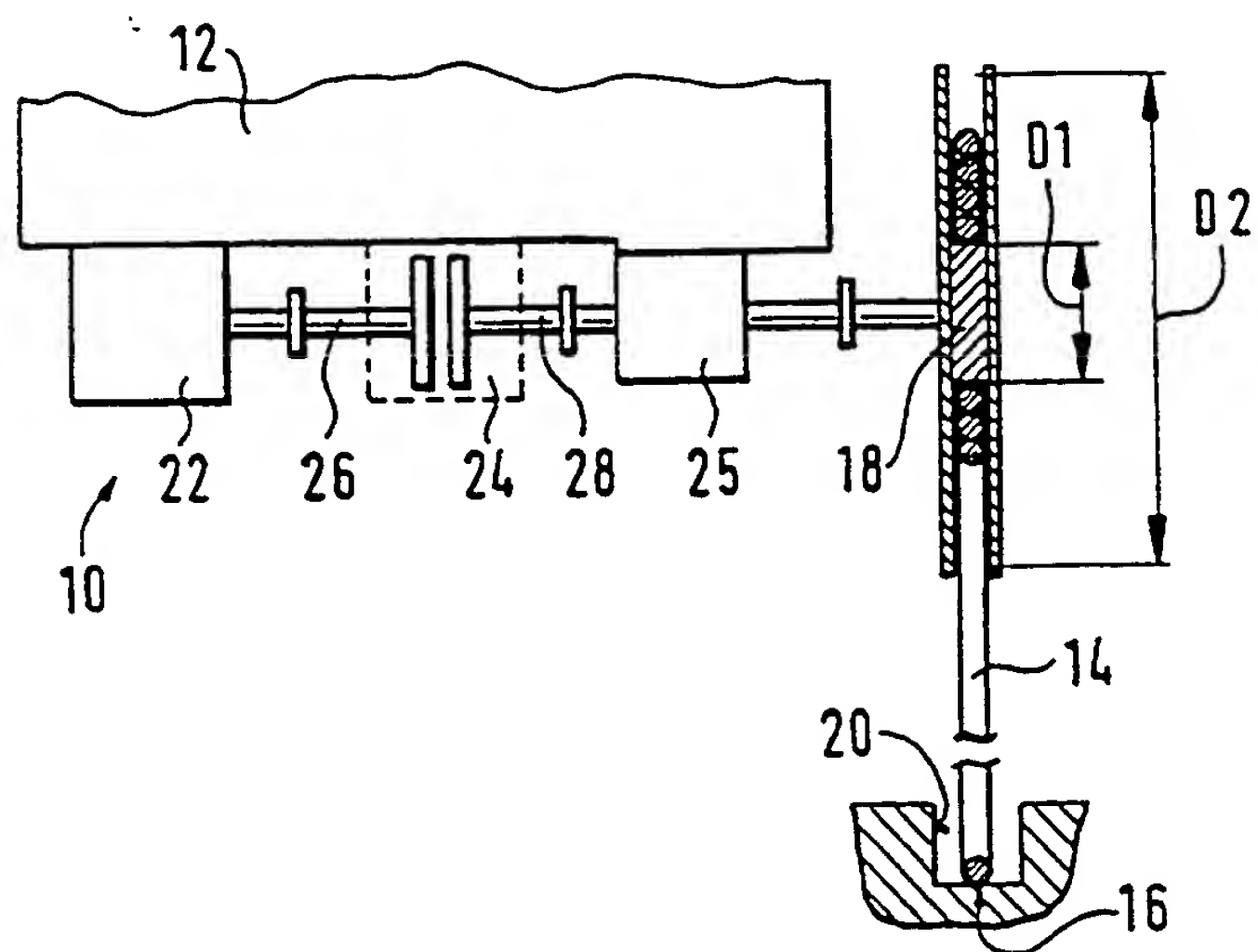


Fig. 1

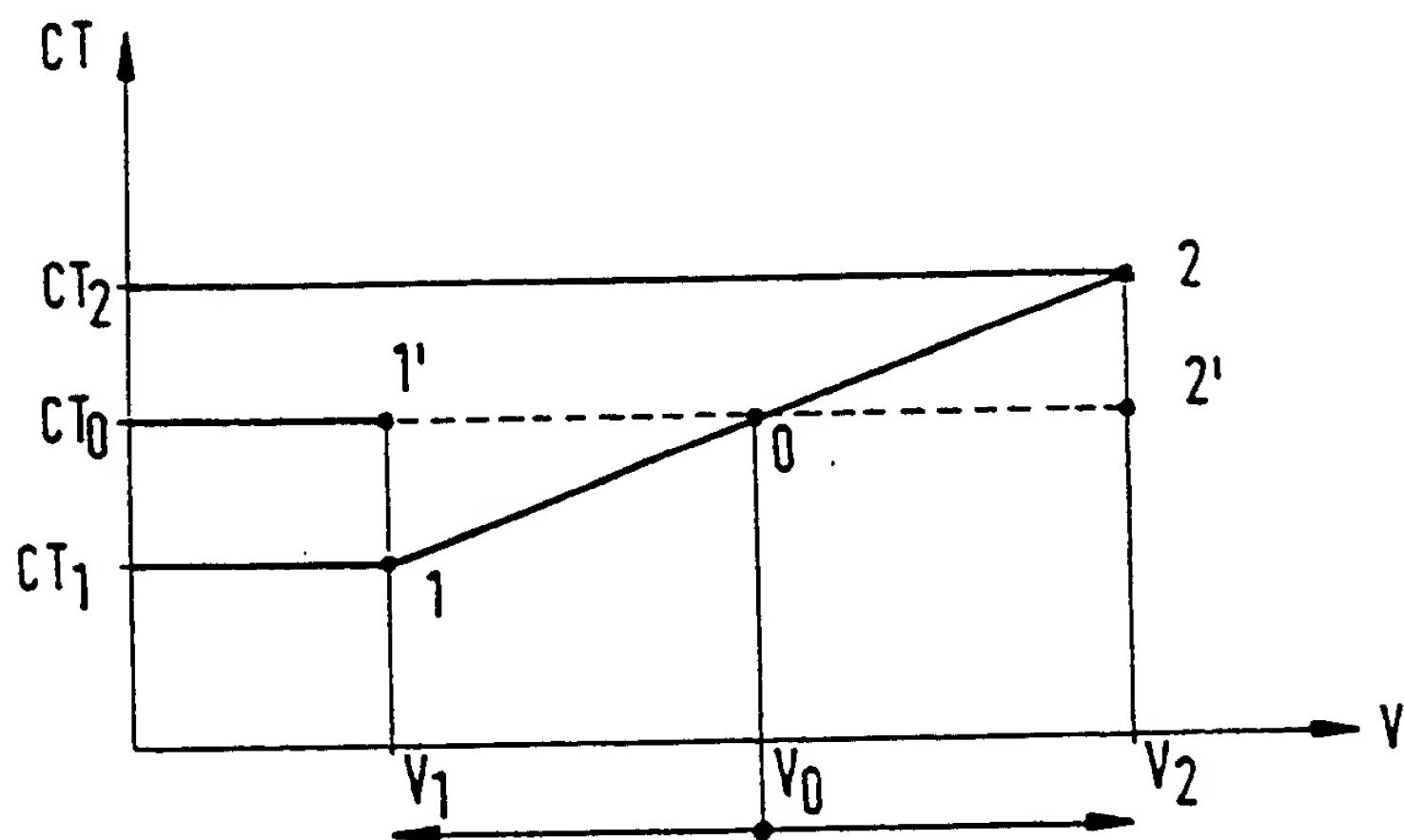


Fig. 2

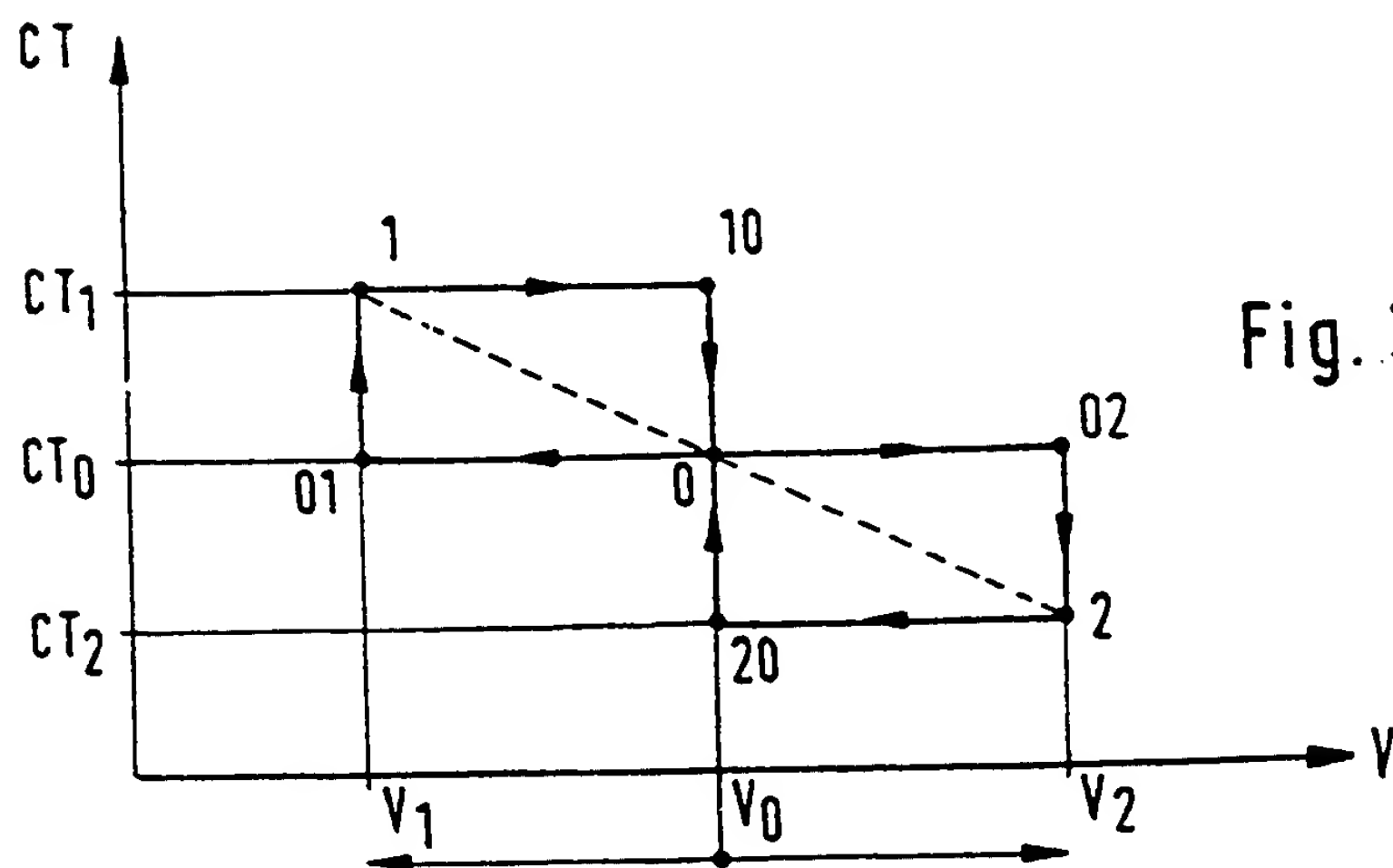


Fig. 3

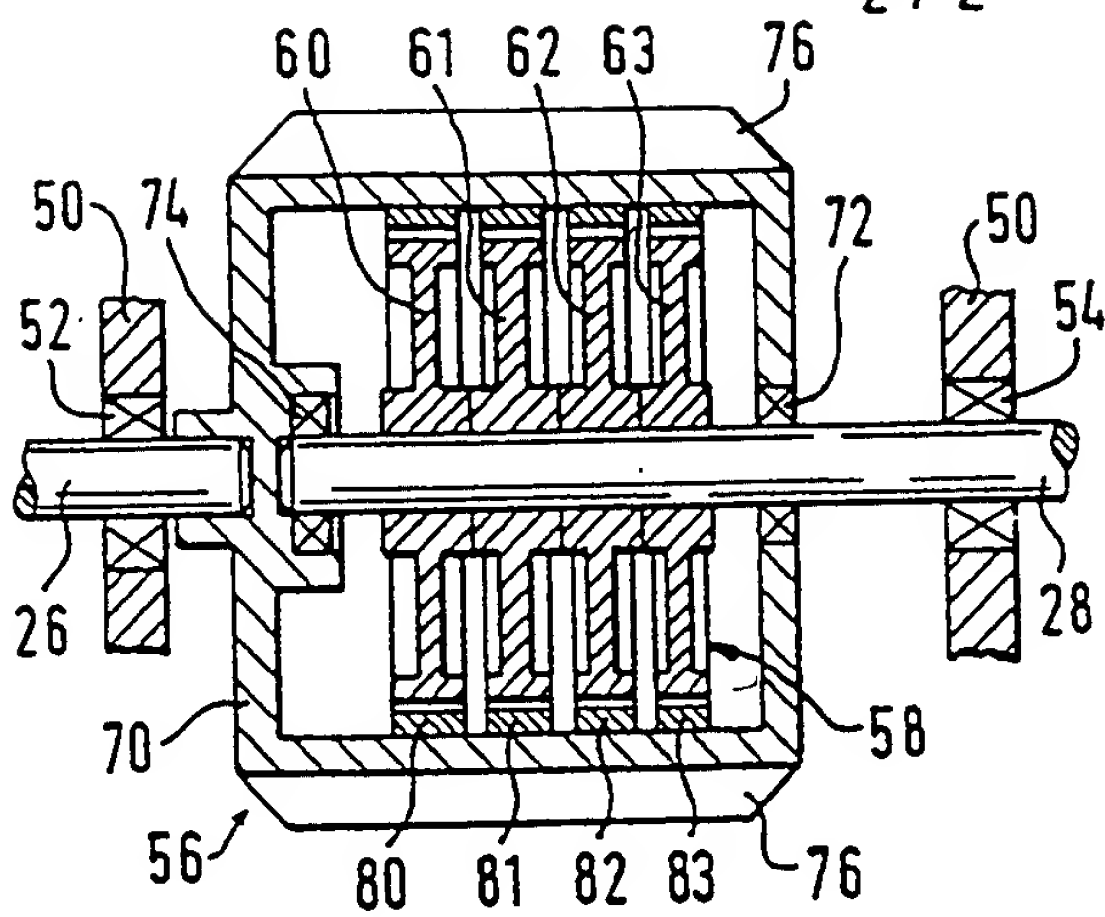


Fig. 4

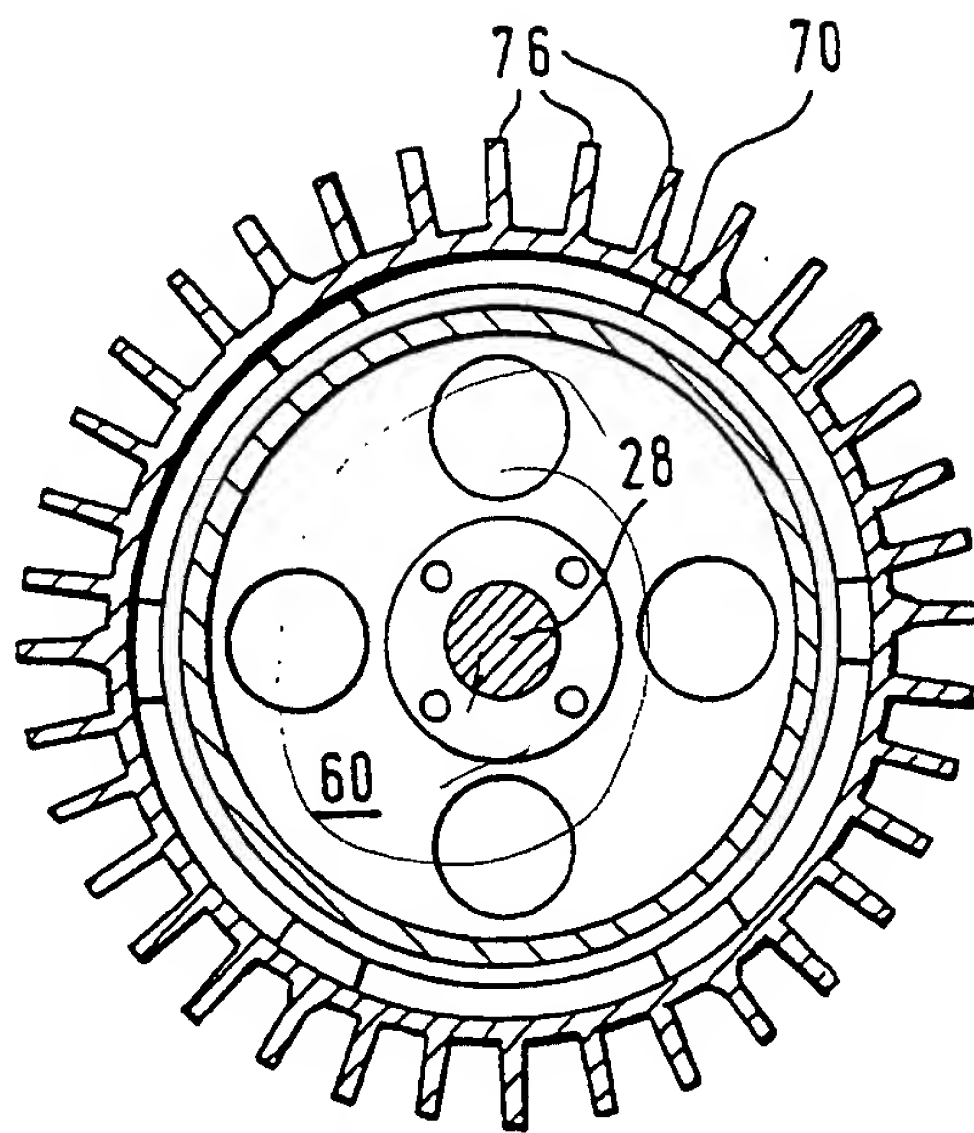


Fig. 5

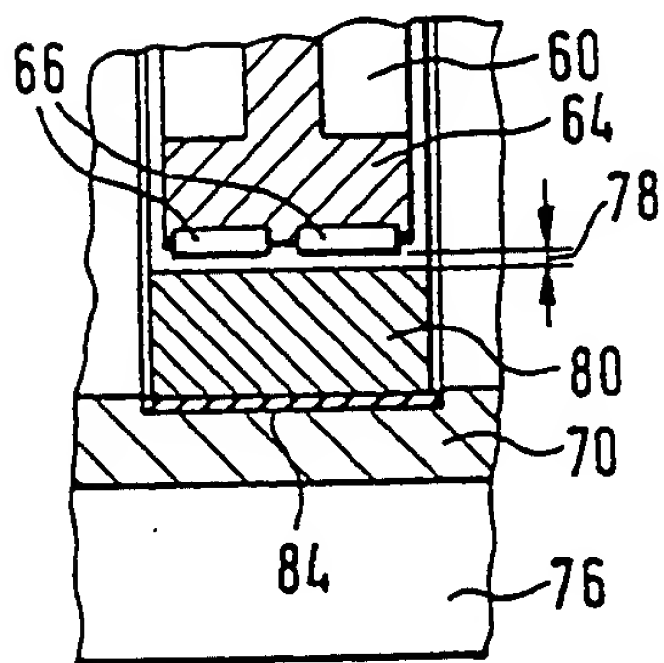


Fig. 6

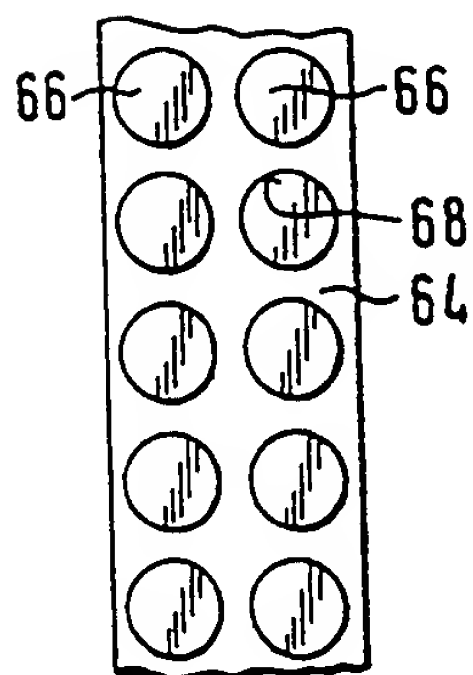


Fig. 7

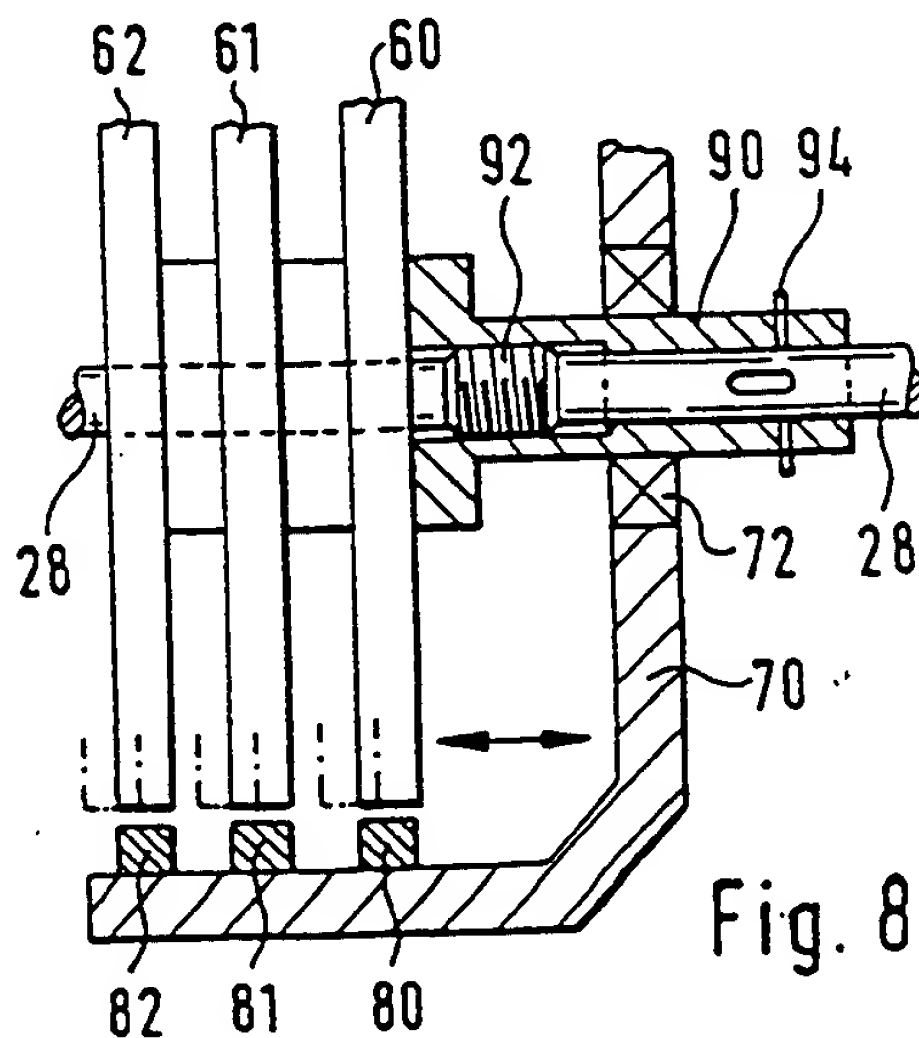


Fig. 8